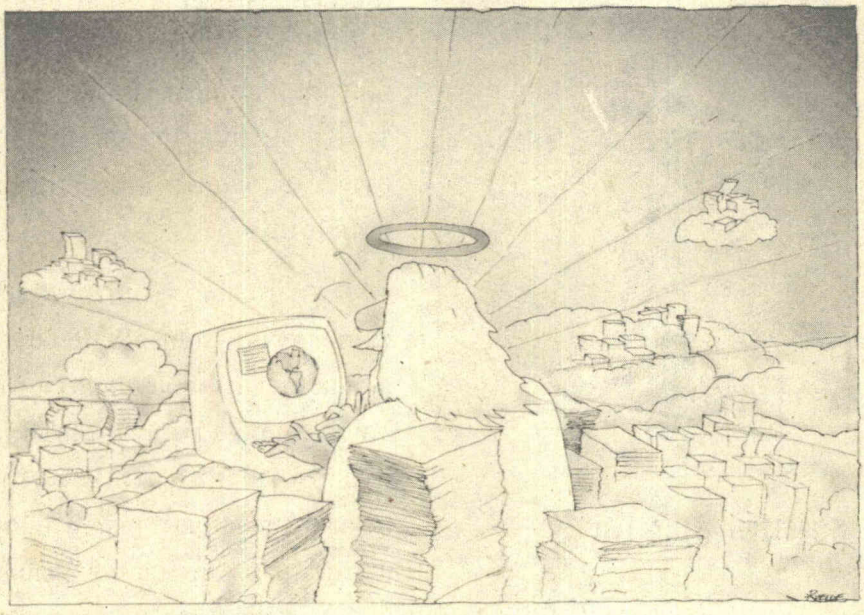
เรื่องน่าอ่าน
ดร.สมนึก คีรีโต

เรียนรู้เทคโนโลยี ฟัซซี่ลอจิก



เทคโนโลยีฟัซซี่ลอจิก มีคุณสมบัติต่าง ๆ มากมาย สามารถประยุกต์ใช้ในสาขาวิชาต่าง ๆ และช่วยให้ระบบงานของคุณพัฒนาขึ้น

ตู้เย็นและเครื่องทำความเย็นยี่ห้อมิตซูบิชิใช้ระบบฟัซซี่ลอจิกในการควบคุมการทำงานที่ให้ผลลัพธ์ในการประหยัดพลังงาน และรักษาความเย็นได้สม่ำเสมอและทั่วถึง

กล้องถ่ายวิดีโอแคนนอนมีระบบปรับภาพไม่ให้สั่น แม้ว่ามือผู้ถ่ายจะสั่น ก็ใช้ระบบฟัซซี่ลอจิกที่มีความสามารถในการคิดหาเหตุผลที่แยกแยะได้ว่า ภาพที่สั่นนั้นเกิดจากการเคลื่อนไหวของวัตถุในภาพเอง หรือเกิดจากการสั่นของมือผู้ถือกล้อง

พัดลมซันโยอันชาญฉลาด สามารถหมุนหน้าหาผู้ใช้ที่กดรีโมทได้โดยอัตโนมัติ ก็ใช้ระบบฟัซซี่ลอจิกผสมผสานกับนิวรอลเน็ตเวอร์ก (เรียกว่า นิวโร-ฟัซซี่-Neuro Fuzzy) ในการควบคุมการทำงานดังกล่าว

บริษัท ฮิตาชิ พัฒนาระบบควบคุมการทำงานของรถไฟและได้ใช้งานจริงที่เมืองเซนไดย์ ประเทศญี่ปุ่น การทำงานของรถไฟเป็นลักษณะอัตโนมัติ มีความถูกต้องแม่นยำตามตารางเวลาเดินรถ การหยุดที่นุ่มนวล การเคลื่อนไหวที่ปลอดภัยและสะดวกสบายต่อผู้โดยสาร ฟัซซี่ลอจิกเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้จุดประสงค์ดังกล่าวเป็นไปได้ดีกว่าระบบควบคุมแบบเดิมที่ใช้หลักการควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral-Differential)

บริษัท ฟูจิ พัฒนาระบบควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิก เพื่อควบคุมคุณภาพการผลิตน้ำประปา ควบคุมการทำงานของลิฟต์ ควบคุมการจราจร และเครื่องดูดฝุ่น

บริษัท ยาไมชิ ใช้ซอฟต์แวร์ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบฟัซซี่ลอจิกเพื่อช่วยแนะนำการซื้อขายสต๊อกในตลาดหลักทรัพย์นิคเคอิ (Nikkei Stock Exchange) ระบบดังกล่าวทำงานได้ดีกว่าผู้เล่นหุ้นปกติถึง 20 เปอร์เซ็นต์

บริษัทชั้นนำในประเทศสหรัฐอเมริกาหลายแห่ง กำลังเริ่มให้ความสนใจในการประยุกต์ใช้งาน และพัฒนาโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ฟัซซี่ลอจิกในการจัดการกับความรู้ และประมวลความรู้เพื่อการแก้ไขปัญหา

คำออกตัว Disclaimer

ผู้เขียนไม่ได้รับค่าจ้างโฆษณาในการอ้างถึงสินค้าอุปโภคของบริษัทต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น เพียงแต่ต้องการกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีฟัซซี่ลอจิกว่ามีอยู่มากมาย และเข้ามามีบทบาทอยู่ในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น ในรูปของสินค้าผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

ซึ่งแข่งขันกันอย่างมากในเรื่องของคุณภาพ ประโยชน์การใช้สอย การบริการที่ดีกว่า หรือมีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าคู่แข่ง ฟัซซี่ลอจิกเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สำคัญ ที่จะสร้างศักยภาพ หรือความได้เปรียบเชิงธุรกิจ (Competitive Strategies) สำหรับผู้ที่เรียนรู้จักศาสตร์อันนี้ก่อน นำไปใช้ประโยชน์ได้ก่อน หรือได้ดีกว่า การประยุกต์ใช้งานด้านฟัซซี่ลอจิกครอบคลุมในสาขาต่าง ๆ เช่น ระบบช่วยการตัดสินใจเชิงธุรกิจ ระบบควบคุมเชิงวิศวกรรม ด้านปัญญาประดิษฐ์ การแพทย์ จิตวิทยา และธรณีวิทยา เป็นต้น ประโยชน์ที่เด่นชัดที่สุดเห็นจะเป็นทางด้านระบบควบคุมและทางด้านการเงินการธุรกิจ

ในบทความนี้จะได้กล่าวถึง ความรู้พื้นฐานที่จะอธิบายว่าแท้จริงแล้วฟัซซี่ลอจิกเป็นอะไรกันแน่ โดยการเชื่อมโยงกับศาสตร์ที่มีการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดของวิชาการสาขาปัญญาประดิษฐ์ นั่นคือ ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems) คอมพิวเตอร์ต้องมีความสามารถในการคิดหาเหตุผลระดับหนึ่งเพื่อประโยชน์ในการแก้ไขปัญหาและเรื่องของเซตแบบฟัซซี่ (Fuzzy Sets) ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของฟัซซี่ลอจิก ถ้าสามารถทำความเข้าใจเรื่องฟัซซี่เซต ก็จะเข้าใจเรื่องลอจิกแบบฟัซซี่ได้ครึ่งหนึ่งทีเดียว

บทความนี้พยายามที่จะอธิบายหลักการทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ในรูปของตัวอย่างที่ใกล้เคียงกับที่มีการใช้งานจริง เพื่อทำความเข้าใจเรื่องการแทนความรู้ และการหาเหตุผลแบบฟัซซี่ พร้อมด้วยตัวอย่างของการใช้งานฟัซซี่ลอจิกในหลาย ๆ ด้าน ซึ่งจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

ระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems) คือ ระบบคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถระดับหนึ่งในการใช้ความรู้ความชำนาญเฉพาะกิจของมนุษย์ เพื่อแก้ไขปัญหายาก ๆ ซึ่งโดยปกติแล้วจะต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญมนุษย์ หรือบุคคลที่มีประสบการณ์และได้รับการฝึกฝนเป็นอย่างดี เพื่อการแก้ไขปัญหาเฉพาะกิจนั้น ๆ

ระบบผู้เชี่ยวชาญ หรือบางครั้งเรียกว่าระบบอิงความรู้ (Knowledge-based Systems) เป็นระบบที่ได้รับความสนใจในการวิจัยและพัฒนามากที่สุดเรื่องหนึ่งในสาขาวิชาปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) เหตุผลส่วนหนึ่งเนื่องจากเทคโนโลยีด้านนี้มีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างจริงจังในหลายด้าน ทั้งในเชิงพาณิชย์ การเกษตร อุตสาหกรรม และการทหาร

ระบบผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งคือ ความรู้หรือฐานความรู้ (Knowledge Base) ส่วนที่สอง เป็นขบวนการอัตโนมัติที่มีความสามารถในการนำความรู้ที่มีอยู่นั้นมาแก้ไขปัญหา ขบวนการอัตโนมัตินี้เรียกว่า เครื่องจักรอนุมาน (Inference Engine) เครื่องจักรอนุมานนี้เป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการคิดหาเหตุผลอันเป็นส่วนสำคัญในการรู้จักใช้ความรู้ที่มีอยู่ในฐานความรู้ เพื่อการแก้ไข หรือการค้นหาคำตอบตามความต้องการ

การประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ของระบบผู้เชี่ยวชาญ เช่น การวินิจฉัยโรค การแนะนำวิธีการซ่อมแซมอุปกรณ์ การวิเคราะห์และตีความหมายจากข้อมูลทางเคมี การตัดสินใจทางการเงิน/การลงทุน การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และการแนะนำการค้นหาแหล่งแร่ เป็นต้น แต่ละงานจะต้องใช้ความรู้ ความเชี่ยวชาญเฉพาะกิจสำหรับเรื่องนั้น ๆ ความรู้ที่จะต้องบรรจุอยู่ในฐานความรู้จึงถูกเรียกให้เจาะจงว่าเป็นความรู้เฉพาะกิจ (Domain Specific Knowledge) เพื่อเน้นให้เห็นว่าระบบผู้เชี่ยวชาญระบบหนึ่ง ๆ มักจะถูกนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาในวงจำกัดตามขอบข่ายที่มีอยู่ภายในความรู้เฉพาะกิจเท่านั้น

หัวใจสำคัญของระบบ

หัวใจสำคัญของระบบผู้เชี่ยวชาญอยู่ที่ฐานความรู้ที่บรรจุอยู่ภายในระบบผู้เชี่ยวชาญ ปัญหาใหญ่ก็คือ เราจะบรรจุความรู้ความเข้าใจของผู้เชี่ยวชาญมนุษย์ลงในรูปแบบอย่างไร ที่ทำให้คอมพิวเตอร์จะสามารถนำไปประมวลผลได้ บ่อยครั้งที่ความรู้ที่ผู้เชี่ยวชาญมีอยู่นั้น มักจะมีโครงสร้างที่ซับซ้อน มีข้อยกเว้น เป็นความรู้บางประการที่ยากแก่การ

อธิบายมาเป็นคำพูด และรวมทั้งมีดีกรีของความไม่แน่นอนบางอย่างแฝงอยู่ด้วย ดังนั้น เราไม่ต้องแปลกใจเลยที่จะกล่าวว่า ศาสตร์สาขาย่อยที่สำคัญที่สุดของวิชาปัญญาประดิษฐ์ ก็คือเทคนิคการแทนความรู้ (Knowledge Representation) การแทนความรู้จึงเป็นที่รวบรวมวิธีการต่าง ๆ ที่กล่าวถึงการบรรจุสิ่งที่เราเรียกว่าความรู้ (Knowledge) ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ การแทนความรู้ อาจจะเป็นวิชาที่เทียบความสำคัญได้กับ วิชาโครงสร้างข้อมูล (Data Structures) อย่างที่นักคอมพิวเตอร์ทุกคนต้องรู้จักเรื่องของโครงสร้างข้อมูลชนิดต่าง ๆ เช่น อะเรย์ ลิงค์ลิสต์ (Linked Lists) และทรี (Trees) เป็นต้น เพื่อที่จะเขียนโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาต่อไป นักคอมพิวเตอร์ในยุคของปัญญาประดิษฐ์ ก็คงหนีไม่พ้นที่จะต้องเรียนรู้ และรู้จักวิธีการแทนความรู้ (Knowledge Representation) ในแบบต่าง ๆ เช่น แบบกฎ (Rules) เครือข่ายซีแมนติก (Semantic Nets) และแบบเฟรม (Frames) เป็นต้น

ในบทความนี้จะกล่าวถึง ความแทนความรู้แบบกฎเกณฑ์เท่านั้น เพื่อจะให้เกิดจุดเชื่อมโยงกับการใช้ฟัซซี่ลอจิกเพื่อการแทนความรู้ที่มีดีกรีของความไม่แน่นอนแบบหนึ่ง ผสมผสานกับความรู้แบบกฎเกณฑ์ ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปนี้

ระบบอิงกฎเกณฑ์ (Rule-based Systems)

ระบบอิงกฎเกณฑ์ เป็นระบบฐานความรู้ ซึ่งใช้วิธีการแทนความรู้ (Knowledge Representation) ในรูปของกฎเกณฑ์เงื่อนไข (IF...THEN...)

```
IF เงื่อนไข THEN ข้อที่จะปฏิบัติ
ถ้าเงื่อนไขเป็นจริง และ
IF เงื่อนไข THEN ข้อกำหนดที่จะ
เป็นจริงตามมา
```

ถ้าเงื่อนไขหลังคำว่า IF เป็นความจริงแล้ว สิ่งที่ตามหลัง THEN จะเป็นข้อปฏิบัติ (Actions) ที่ต้องกระทำ หรือจะเป็นเงื่อนไข หรือข้อกำหนดที่จะต้องเป็นจริงตามมาด้วย เงื่อนไขที่อยู่หลัง IF อาจจะประกอบด้วยเงื่อนไขย่อย ๆ หลายเงื่อนไขที่เชื่อมกันด้วยคำเชื่อม และ (and) ได้ พิจารณาตัวอย่างของกฎเกณฑ์เงื่อนไขง่าย ๆ ซึ่งอาจจะเป็นส่วนหนึ่งของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ให้คำแนะนำการให้สินเชื่อแก่ลูกค้าธนาคารดังต่อไปนี้

```
IF เงินเดือนของลูกค้าน้อยกว่าสามเท่า
ของยอดเงินผ่อน
THEN ให้สำรวจประวัติเครดิตของ
ลูกค้า
```

ถ้าเงื่อนไขที่อยู่หลังคำว่า IF จากตัวอย่างข้างบน คือเงื่อนไขที่ลูกค้ารายหนึ่งมีเงินเดือนน้อยกว่าสามเท่าของยอดเงินผ่อนหรือไม่ ในวิชาปัญญาประดิษฐ์ เราจะเรียกเงื่อนไขนี้ว่าเพรดิเคต (predicate) ให้สังเกตว่า เพรดิเคตนี้ในช่วงเวลาหนึ่งจะมีค่าเพียงหนึ่งในสองค่า คือ จริง (TRUE) (เช่นลูกค้ารายนั้นมีเงินเดือนน้อยกว่าสามเท่าของยอดเงินผ่อน) หรือ เท็จ (FALSE) (เช่น ลูกค้ามีเงินเดือนมากกว่าหรือเท่ากับสามเท่าของยอดเงินผ่อน) กฎเกณฑ์ข้างต้นเป็นความรู้ที่แนะนำการปฏิบัติ นั่นคือ การตรวจสอบประวัติเครดิต เมื่อลูกค้ารายนั้นมีเงินเดือนน้อยกว่าสามเท่าของเงินผ่อนรายเดือน นั่นเอง

ขอให้พิจารณากฎเกณฑ์ 2 ข้อต่อไปนี้ ซึ่งอาจจะเป็นส่วนหนึ่งในฐานความรู้ ที่อาจจะนำไปใช้ในระบบผู้เชี่ยวชาญในการแนะนำการลงทุน ให้สังเกตว่าเงื่อนไขหลังคำว่า ถ้า (IF) ประกอบด้วยเงื่อนไขย่อยที่เชื่อมกันด้วยคำเชื่อม และ (and)

กฎข้อที่ 101 : IF เงินลงทุนของลูกค้าน้อยกว่า 300,000 บาท และลูกค้าอายุมากกว่า 55 ปี

THEN ลูกค้าควรจะลงทุนในลักษณะ high-grade bonds

กฎข้อที่ 102 : IF ลูกค้าพร้อมที่จะเสี่ยงในการลงทุน และลูกค้าอายุน้อยกว่า 45 ปี

THEN ลูกค้าควรจะลงทุนในลักษณะ growth stocks

ขอย้ำอีกครั้งหนึ่งว่า เงื่อนไขหรือเพรดิเคตต่าง ๆ ที่ใช้แต่ละตัวในระบบฐานความรู้แบบกฎเกณฑ์ในลักษณะปกติ จะมีค่าได้เพียงสองค่า คือ จริง หรือ เท็จ เช่น ลูกค้า (รายที่สนใจ) พร้อมที่จะเสี่ยงในการลงทุนหรือไม่ ถ้าคำตอบของลูกค้ารายนั้นคือ พร้อม และถ้าลูกค้าคนนั้นอายุน้อยกว่า 45 ปี ระบบผู้เชี่ยวชาญจะแนะนำการลงทุนในลักษณะของการเล่นหุ้นแบบ Growth Stocks ตามความรู้ของกฎข้อที่ 102 เป็นต้น

การแทนความรู้แบบกฎเกณฑ์เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้กันมากที่สุด ในการบรรจุความรู้และวิธีการแก้ปัญหาของผู้เชี่ยวชาญมนุษย์ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ ในทางปฏิบัติแล้ว ผู้เชี่ยวชาญจะสามารถอธิบายวิธีการต่าง ๆ รวมทั้งความรู้ที่ใช้ในการแก้ปัญหาได้ดีในรูปของเงื่อนไข นอกจากนี้ฐานความรู้สามารถขยายขีดความสามารถได้โดยง่ายด้วยการเพิ่มกฎเกณฑ์ลงไปในฐานความรู้นั้น ระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถที่จะแก้ไขปัญหาที่มีความสลับซับซ้อนโดยการเลือกใช้กฎเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง และมีการผสมผสานกฎเกณฑ์เหล่านั้นเข้าด้วยกันได้

ฟัซซี่ลอจิกและโลกของความไม่แน่นอน

บ่อยครั้งที่การประยุกต์ใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญ มักจะเข้าไปเกี่ยวข้องกับความรู้ซึ่งมีดีกรีของความไม่แน่นอนแฝงอยู่ ลองพิจารณาความรู้เกี่ยวกับการเงิน ซึ่งอาจจะเขียนเป็นกฎเกณฑ์ในตัวอย่างต่อไปนี้

IF unemployment is very low and inflation is moderate

THEN increase interest rate slightly.

ดีกรีของความไม่แน่นอนที่กล่าวถึงนี้ แฝงอยู่ในรูปของคำขยาย เช่น ปานกลาง (moderate), มาก (very), เล็กน้อย (slightly), ค่อนข้างจะ (extremely), ประมาณ (about), ไม่ค่อยจะ (unlikely) และ โดยปกติ (usually) เป็นต้น คำต่าง ๆ เหล่านี้ มักจะเป็นคำที่ผู้เชี่ยวชาญใช้เพื่ออธิบายความรู้หรือกฎเกณฑ์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา หรือแม้แต่คำว่า ต่ำ (low) (หรือสูง) ก็อาจจะมีดีกรีของความไม่แน่นอน ในแง่ขอบเขตที่ไม่อาจจะชี้ชัดว่า ค่าตัวเลขเท่าไร ควรจะเป็นค่าต่ำหรือไม่ วิธีการหนึ่งที่จะแทนความรู้ที่มีลักษณะของความไม่แน่นอนดังตัวอย่างที่กล่าวข้างต้น มักจะใช้ลอจิกที่เรียกว่าฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic)

ฟัซซี่ลอจิกเป็นวิธีการแทนความรู้ที่ใช้หลักการของเซตแบบฟัซซี่ (Fuzzy Set) ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากเซตแบบปกติ (Crisp Set-เรื่องเซตที่เราเรียนรู้กันดีตั้งแต่ชั้นมัธยมศึกษา) เซตแบบปกติจะให้ค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่าเท่านั้น คือ จริง หรือ เท็จ (เช่น ถามว่า element ตัวหนึ่งเป็นสมาชิก

Fuzzy Image Stabilizer
กล้องวิดีโอ Cannon

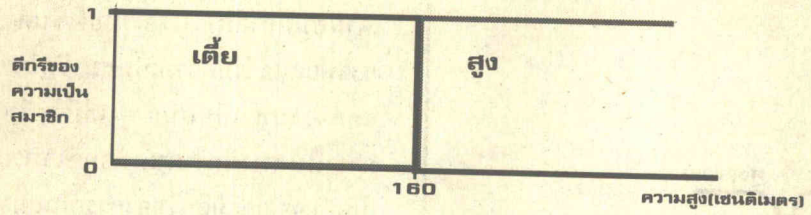
ของเซตหนึ่งหรือไม่ คำตอบของคำถามนี้เป็นเพียงจริงหรือเท็จเท่านั้น) ส่วนฟัซซี่เซตได้เสนอวิธีการที่ฉีกแนวออกไป กล่าวคือ ค่าความเป็นสมาชิกในเซตแบบฟัซซี่ไม่จำเป็นต้องเป็นเพียงจริงหรือเท็จ อาจจะเป็นค่าที่มีความกำกวมแฝงอยู่ แทนที่ค่าความเป็นสมาชิกจะเป็นเพียงหนึ่งในสองค่า ค่าที่เป็นไปได้นั้นอาจจะมีให้เลือกมากกว่าสองค่าได้ ดังนั้น พื้นฐานของฟัซซี่ลอจิกจึงมีลักษณะที่เรียกว่าเป็นลอจิกแบบหลายค่า (Multi-valued Logic) แทนที่จะเป็นเพียงลอจิกแบบสองค่า (Two-valued Logic) กล่าวคือ เพรดิเคตต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ภายในฐานความรู้แบบฟัซซี่ไม่จำเป็นต้องมีค่าเพียงเท็จ (0) หรือจริง (1) เท่านั้น แต่อาจจะมีค่าเป็นตัวเลขใด ๆ ก็ได้ ตั้งแต่ 0 ถึง 1 เป็นต้น

ลองพิจารณาตัวอย่างในลอจิกแบบปกติ (หรือเซตแบบปกติ) เพื่อที่จะกล่าวว่า ใครคนหนึ่งสูงหรือเตี้ย เราจำเป็นจะต้องมีเกณฑ์วัดที่แน่นอน เพื่อที่คำตอบของคำถาม (หรือเพรดิเคตที่กล่าวถึง) มีค่าเป็นจริงหรือเท็จ เช่น อาจจะกำหนดว่าถ้าใครสูงเท่ากับหรือเกิน 160 เซนติเมตร ถือว่าคน ๆ นั้นสูง ถ้าใครคนนั้นความสูงน้อยกว่า 160 เซนติเมตร ถือว่าคนนั้นไม่สูง (เตี้ย) (ถ้ากล่าวกันในภาษาของเซตก็คือ ทุกคนที่มีความสูงเท่ากับ หรือมากกว่า 160 เซนติเมตร จะเป็นสมาชิกในเซตคนสูง มิฉะนั้นแล้วก็จะอยู่ในเซตคนไม่สูง เซตคนเตี้ย) รูปที่ 1 (ก) เป็นกราฟที่แสดงดีกรีของการเป็นสมาชิกในเซต เทียบกับส่วนสูง สังเกตว่าส่วนสูงแต่ละค่าจะมีดีกรีของการเป็นสมาชิกในเซตสูงหรือเตี้ยได้เพียงหนึ่งในสองค่า คือ 0 (เท็จ) หรือ 1 (จริง) เท่านั้น

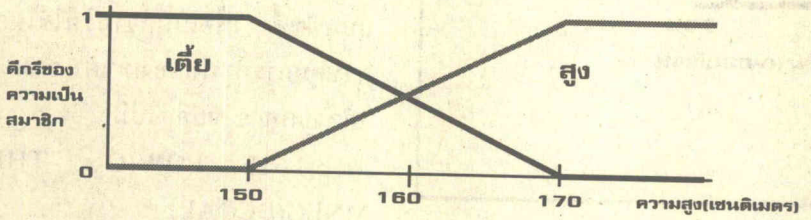
ในโลกของความเป็นจริง บ่อยครั้งที่ความไม่แน่ใจ หรือความไม่แน่นอนของสถานการณ์ที่อาจจะบีบบังคับเราให้ต้องมีการตัดสินใจที่คลุมเครือ เงื่อนไขบางอย่างอาจจะไม่ใช่ขาวหรือดำที่ชัดเจน เช่น คนที่มีส่วนสูงเท่ากับ 165 เซนติเมตร อาจจะเป็นคนที่เราคิดว่าเขาเป็นคนที่ไม่เตี้ย แต่เป็นคนที่ค่อนข้างสูง เป็นต้น ฟัซซี่เซตเสนอแนวทางที่จะแทนลักษณะความกำกวมนี้โดยแสดงในรูปของฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) ที่มีค่าอย่างต่อเนื่อง รูปที่ 1 (ข) แสดงฟังก์ชันสมาชิกของฟัซซี่เซตสูงและเตี้ย ให้สังเกตว่าคนที่มีความสูง 160 เซนติเมตร จะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตสูงและในเซตเตี้ยเท่ากัน คือ 0.5 ส่วนความสูง 165 เซนติเมตร มีค่าความเป็นสมาชิกในเซตสูง เท่ากับ 0.75 และค่าความเป็นสมาชิกในเซตเตี้ย เท่ากับ 0.25 เป็นต้น

หลักการสำคัญ ๆ ของฟัซซี่ลอจิก

หลักการที่สำคัญอย่างน้อย 2 ประการที่พอจะสรุปได้ในที่นี้ ประการ



(ก) เซตแบบปกติมีค่าความเป็นสมาชิกเพียง 1 (จริง) หรือ 0 (เท็จ)



(ข) เซตแบบฟัซซี่มีค่าความเป็นสมาชิกตั้งแต่ 0 ถึง 1

รูปที่ 1 เปรียบเทียบเซตแบบปกติและฟัซซี่เซต

ที่หนึ่ง ฟัซซี่ลอจิกแตกต่างจากลอจิกแบบปกติ (ลอจิกที่บางครั้งเรียกว่าอารีสโตเทเลียนลอจิก Aristotelian Logic เนื่องจากอารีสโตเติลเป็นคนต้นคิดลอจิกแบบที่มีสองค่านั้น) ตรงที่ฟัซซี่ลอจิกแหกกฎ หรือ ไม่เชื่อฟังกฎเกณฑ์ที่เรียกว่ากฎของความไม่ขัดแย้ง (Law of Noncontradiction) (โดยปกติถ้าเพรดิเคตหนึ่งเป็นจริง แสดงว่าเพรดิเคตนั้นไม่เท็จ เพรดิเคตหนึ่งจะเป็นทั้งจริงและเท็จพร้อมกันไม่ได้) แต่คราวนี้ฟัซซี่เซตยอมให้เพรดิเคตมีค่าความเป็นสมาชิกได้ในหลายเซต เช่น ความสูงหนึ่ง ๆ เป็นสมาชิกทั้งในเซตสูงและเซตเตี้ยพร้อม ๆ กัน ประการที่สอง ดีกรีของความเป็นสมาชิกในเซตไม่จำเป็นต้องรวมกันแล้วได้ค่าเป็น 1 (แม้ว่าตัวอย่างที่ให้ดังแสดงในรูป 1 (ข) จะบังเอิญรวมกันได้ 1 ก็ตาม)

คำเชื่อมเพรดิเคตที่ใช้กับฟัซซี่ลอจิกอาจจะเป็น AND, OR และ NOT ได้ ในกรณีของ A AND B, คำเชื่อม AND จะให้คำตอบเป็นค่าต่ำสุดของดีกรีของการเป็นสมาชิกใน A และ B ส่วนกรณีของ A OR B นั้นคำเชื่อม OR จะให้คำตอบเป็นค่าสูงสุดของดีกรีของการเป็นสมาชิกใน A และ B ส่วน NOT A จะให้ค่าเป็น 1 ลบด้วยค่าดีกรีของการเป็นสมาชิกของตัวแปร A

เรื่องต่อไปนี้จะได้แสดงให้เห็นการนำฟัซซี่เซตไปใช้ในปัญหาจริง พร้อมทั้งแสดงวิธีการหาเหตุผลแบบฟัซซี่ เพื่อที่จะหาคำตอบของปัญหา โดยจะยกตัวอย่างในระบบควบคุมการผลิตปูนซีเมนต์ประกอบคำอธิบาย หัวข้อต่อไปนี้ เสนอเรื่องที่เป็นหัวใจสำคัญของการใช้งานฟัซซี่ลอจิก

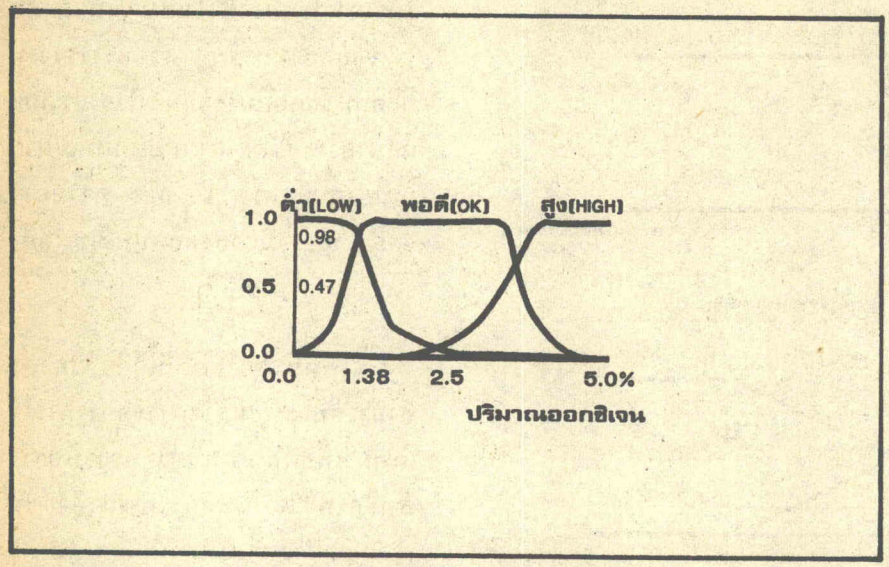
ฟัซซี่ลอจิก : ควบคุมการผลิตปูนซีเมนต์

ฟัซซี่ลอจิกถูกนำไปใช้งานในระบบการควบคุมอย่างประสบความสำเร็จโดยเฉพาะอย่างยิ่งในขบวนการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม ตัวอย่างโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ในรัฐออนตาริโอ ประเทศแคนาดา ใช้เตาเผาผสมซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 19 ฟุต ความยาว 655 ฟุต มีกำลังผลิตปูนซีเมนต์ถึง 1,000,000 ตันต่อปี

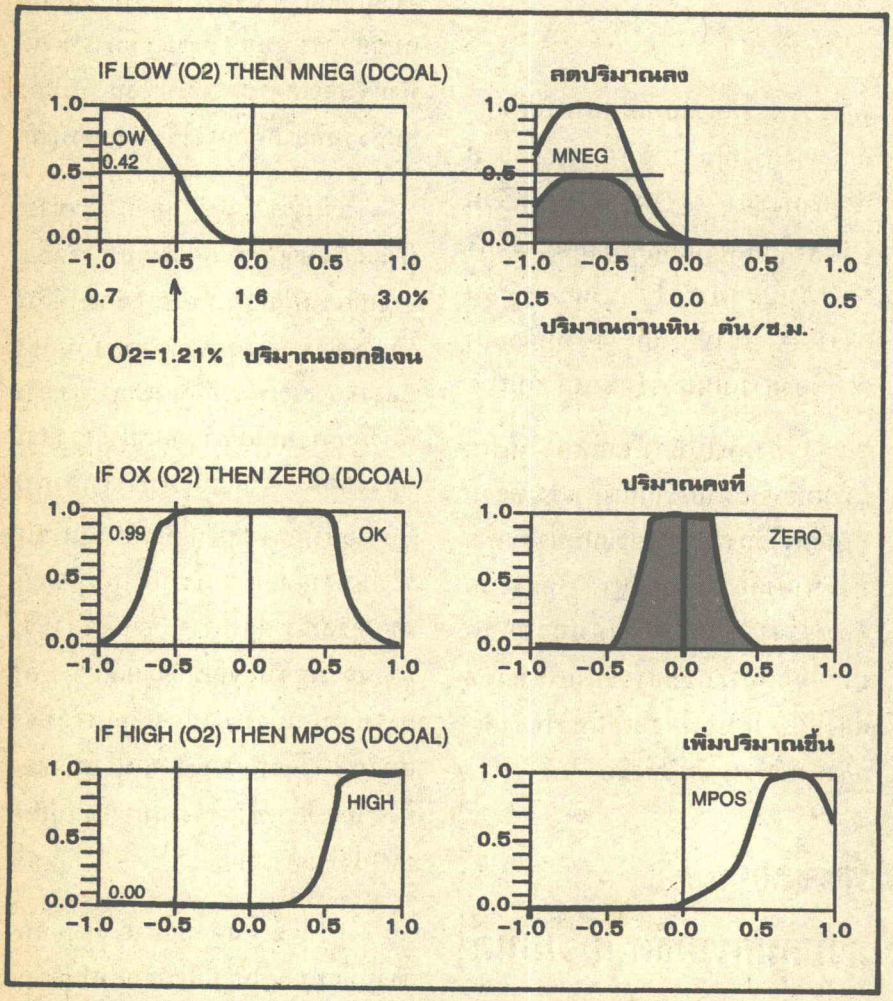
จุดที่น่าสนใจในที่นี้ก็คือ วิศวกรสามารถที่จะเรียนรู้วิธีการจัดการการใช้เตาเผาเพื่อผสมซีเมนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่การพัฒนาฟังก์ชันเชิงคณิตศาสตร์เข้ามาเพื่อควบคุมการทำงานดังกล่าว ทำได้อย่างลำบากยากเย็น การสร้างฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่ง่ายเกินไปก็ไม่สามารถทำงานเทียบเท่ากับวิศวกรมนุษย์ ในขณะที่การพัฒนาฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน ก็พบกับอุปสรรคที่ยากต่อการใช้งานและพัฒนา

วิธีการของฟัซซี่ลอจิก สามารถที่จะแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ดังกล่าวได้ดีกว่าระบบควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกที่ใช้งานนั้น ใช้ข้อมูลอินพุตจากหลายส่วน เช่น อัตราของเชื้อเพลิงที่ใช้เผาผลาญ ความเร็วรอบการหมุนของเตาผสม อัตราส่วนของวัตถุดิบ และปริมาณของอากาศที่ป้อนเข้าสู่เตาผสม เป็นต้น เพื่อให้ระบบนี้ง่ายต่อการอธิบาย ในที่นี้จะขอสมมติจุดที่เราต้องการจะควบคุมด้วยวิธีการของฟัซซี่ลอจิกเพียงจุดเดียว คือ การควบคุมปริมาณของเชื้อเพลิงที่จะเผาไหม้ โดยพิจารณาจากปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่วัดได้จากทางด้านปลายของปล่องเตาเผา

รูปที่ 2 แสดงปริมาณของออกซิเจนที่แทนอยู่ในรูปฟังก์ชันสมาชิกของฟัซซี่เซต 3 เซต คือ ต่ำ (LOW), พอดี (OK) และสูง (HIGH) ตัวอย่างเช่น



รูปที่ 2 กราฟแสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตปริมาณออกซเจน ต่ำ, พอดี และสูง



รูปที่ 3 กราฟที่แสดงความหมายของกฎเกณฑ์ทั้ง 3 ข้อในการควบคุมอัตราการป้อนถ่ายหินเข้าเตาเผา (ตันต่อชั่วโมง) ที่ควรจะเปลี่ยนไปตามลักษณะของออกซิเจนที่วัดได้ในเตาเผา

เมื่อปริมาณของออกซิเจนที่ปลายกระบอกเตาผสมมีค่าเป็น 1.38 เปอร์เซ็นต์ ในกราฟแสดงว่ามีความเป็นสมาชิกในเซตออกซิเจนสูงเป็นศูนย์ แต่มีดีกรีของการเป็นสมาชิกในเซตออกซิเจนพอดีเป็น 0.98 และมีดีกรีของการเป็นสมาชิกในเซตออกซิเจนต่ำไป เป็น 0.47 เป็นต้น

ฐานความรู้ที่อยู่ในรูปของกฎเกณฑ์แบบฟัซซี่ เพื่อเป็นความรู้ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเตาเผา อาจเขียนได้ด้วยกฎ 3 ข้อต่อไปนี้

1. IF LOW(O_2) THEN MNEG(DCOAL)

2. IF OK(O_2) THEN ZERO (DCOAL)

3. IF HIGH(O_2) THEN MPOS (DCOAL)

ในที่นี้ตัวแปร DCOAL แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของถ่านหินที่ป้อนเข้าสู่เตาเผา และตัวแปร O_2 แสดงปริมาณของออกซิเจนที่วัดได้ที่ปลายของเตาเผา กฎเกณฑ์ทั้ง 3 ข้อข้างต้นถูกใช้งานเพื่อการลด เพื่อการให้คงที่ และเพื่อให้เพิ่มปริมาณถ่านหินที่ใช้ตามปริมาณของออกซิเจนที่วัดได้เป็นต่ำ พอดี และสูง ตามลำดับ

รูปที่ 3 แสดงกฎเกณฑ์ทั้ง 3 ข้อข้างต้น ในรูปของกราฟ กราฟในคอลัมน์ขวามือแสดงปริมาณการป้อนถ่านหินเข้าสู่เตาเผาในลักษณะลดปริมาณลง (MNEG), รักษาให้ปริมาณคงที่ (ZERO) และเพิ่มปริมาณขึ้น (MPOS) ตามลำดับ กราฟแสดงดีกรีของความเป็นสมาชิกจะต้องถูกกำหนดโดยวิศวกรผู้เชี่ยวชาญในด้านนี้

เพื่อแสดงให้เห็นลักษณะการทำงานของระบบ เราจะกล่าวถึงวิธีการหาเหตุผลของฟัซซี่ลอจิก ซึ่งเป็นขบวนการอนุมานแบบฟัซซี่ (Fuzzy Inferencing)

โดยจะยกตัวอย่างจากปัญหาข้างต้นดังต่อไปนี้

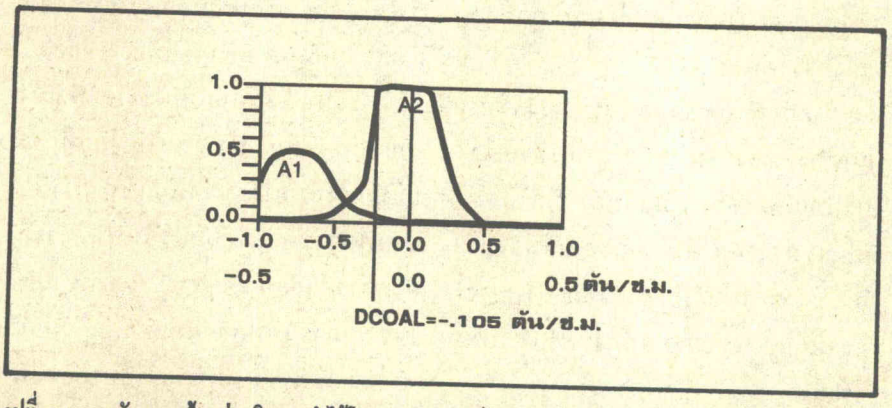
สมมติว่า ปริมาณของออกซิเจนที่วัดได้ที่ปลายของปล่องเตาเผาเป็น 1.21 เปอร์เซ็นต์ (ดูรูปที่ 3 กราฟในคอลัมน์ซ้ายมือ) จากกราฟในรูปที่ 3 ค่าออกซิเจนเท่ากับ 1.21 เปอร์เซ็นต์ ลากขึ้นไปตัดกราฟออกซิเจนต่ำ (LOW) ได้ดีกรีความเป็นสมาชิกเป็น 0.42 ไปตัดกราฟออกซิเจนพอดี (OK) ได้ดีกรีความเป็นสมาชิกเป็น 0.99 และไปตัดกราฟออกซิเจนสูง (HIGH) ได้ดีกรีเป็นศูนย์ กฎสองข้อแรกเท่านั้นที่จะถูกนำไปใช้เพื่อการสรุปผลลัพธ์ (เนื่องจากกฎข้อ 3 ดีกรีความเป็นสมาชิกมีค่าเป็นศูนย์)

ค่าดีกรีของความเป็นสมาชิกที่หาได้จากกฎทั้งสองข้อนั้นแตกต่างกัน จะเป็นตัวที่จะกำหนดดีกรีของข้อสรุป ในที่นี้ก็คือ ดีกรีของการให้ทำการลดปริมาณ (กฎข้อแรก) และให้ปริมาณการป้อนถ่านหินคงที่ (กฎข้อสอง) ในลักษณะที่แตกต่างกันด้วย เช่น ออกซิเจน 1.21 เปอร์เซ็นต์ มีดีกรีของการเป็นสมาชิกในเซตต่ำ (LOW) เป็น 0.42 ก็จะให้ข้อสรุปที่เป็นการลดปริมาณถ่านหินอ่อนกว่า การที่ออกซิเจน 1.21 เปอร์เซ็นต์ มีดีกรีของการเป็นสมาชิกในเซตพอดี (OK) เป็น 0.99 ซึ่งให้ข้อสรุปที่เป็นการคงปริมาณของการป้อนถ่านหินเป็นต้น แนวคิดอันนี้สามารถอนุมานได้ในรูปของการลากเส้นตรงในแนวนอนต่อออกไปตัดกับกราฟของข้อสรุปในรูปที่ 3 เช่น ในกฎข้อแรกของรูปที่ 3 เราสามารถลากเส้นตรงตามแนวนอนที่ค่าความเป็นสมาชิก 0.42 ไปตัดกับกราฟข้อสรุปในคอลัมน์ทางขวาได้กราฟที่ระบายสีเป็นผลสรุป และเช่นเดียวกับกฎข้อที่สองในรูปที่ 3 เนื่องจากค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0.99 ผลสรุปที่ได้จึงประมาณได้เท่ากับกราฟข้อสรุปได้เลย (กราฟปริมาณคงที่) เป็นต้น

ผลสรุปของการใช้กฎเกณฑ์ทั้งสองข้อจะต้องถูกนำมารวมกัน โดยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง เพื่อให้ได้เอาต์พุตไปเพื่อกำหนดการควบคุมอัตราการป้อนถ่านหินที่เหมาะสม วิธีการนำกราฟผลลัพธ์จากกฎต่าง ๆ ที่ถูกใช้เพื่อจะสรุปตัวเลขสุดท้ายนี้ เรียกว่า เป็นการทำดีฟัซซี่ฟิเคชัน (defuzzification) วิธีการที่นิยมใช้กันเป็นวิธีของการหาจุดศูนย์ถ่วงของกราฟผลลัพธ์ทั้งหมด (Centroid Method)

จากกราฟผลสรุปของกฎสองข้อที่ได้จากรูปที่ 3 เมื่อนำมาบวกกัน (ขอเรียกว่าเป็นกราฟ A1 และ A2 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของกฎข้อที่ 1 และกฎข้อที่ 2 เมื่อปริมาณออกซิเจนเป็น 1.21 เปอร์เซ็นต์) ดังแสดงในรูปที่ 4 จุดศูนย์ถ่วงของกราฟผลรวมนี้จะอยู่ที่ DCOAL = −.105 ตันต่อชั่วโมง นั่นคือ ผลสรุปรวมที่ให้ทำการลดอัตราการป้อนถ่านหินลง 0.105 ตันต่อชั่วโมง เมื่อปริมาณออกซิเจนที่เตาเผาเป็น 1.21 เปอร์เซ็นต์นั่นเอง

การประยุกต์ใช้งานระบบฟัซซี่เพื่อการควบคุมการผสมปูนซีเมนต์นี้ในสภาพแวดล้อมจริงจะขยายจากระบบที่อธิบายดังกล่าว ด้วยหลักการเดียวกัน โดยมีการรับอินพุตจากความเร็วของการหมุนปล่องผสมปูนซีเมนต์ และปริมาณของวัตถุดิบด้วย โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ลาเฟ (Lafarge) ของแคนาดาได้รายงานผลดีของการใช้ระบบฟัซซี่-ลอจิกเพื่อการควบคุมดังกล่าวในด้านการประหยัดการใช้ถ่านหิน การยืดอายุของปล่องผสม ผลลัพธ์ที่ตามมาก็คือยืดอายุของอุปกรณ์ และการเพิ่มผลผลิตของโรงงาน โรงงานอีกอย่างน้อย 30 แห่งก็ใช้ระบบควบคุมการผลิตปูนซีเมนต์แบบฟัซซี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน



รูปที่ 4 การหาอัตราการป้อนถ่านหินกระทำได้โดยการหาจุดศูนย์ถ่วง (Centroid Method) ของกราฟที่เป็นผลรวมของกราฟข้อสรุปของกฎทุกข้อที่ถูกพิจารณา

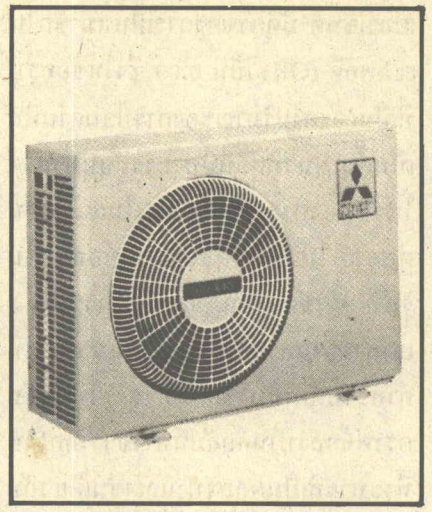
ฟัซซี่ลอจิก : การปรับโฟกัสของกล้องถ่ายวิดีโอ

บริษัทที่มีชื่อเสียงมากที่สุดบริษัทหนึ่ง ซึ่งทำธุรกิจเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีด้านฟัซซี่ลอจิก ก็คือ บริษัท โทกัย อินฟราลอจิก (Togai Infralogic) ที่ตั้งสำนักงานอยู่ในรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา บริษัทนี้ได้พัฒนาและสร้างโปรแกรมระบบเปลือกผู้เชี่ยวชาญ (TIL Shell) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา

ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบฟัซซี่ลอจิก นอกจากนี้ ทางบริษัทยังได้คิดค้นพัฒนาและผลิตฮาร์ดแวร์พิเศษ ซึ่งเป็นชิพไอซี หน่วยประมวลผลร่วม (Co-processor Chip) หน่วยประมวลผลตัวนี้ มีความสามารถในการคิดหาเหตุผลได้ตามหลักการของฟัซซี่ (Fuzzy Inferencing) ตัวอย่างที่ประสบความสำเร็จมากประการหนึ่งของการใช้หน่วยประมวลผลฟัซซี่ลอจิกที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ คือ การควบคุมการปรับโฟกัสของเลนส์ในกล้องถ่ายวิดีโอ เพื่อให้ได้ภาพคมชัดโดยอัตโนมัติ

ทุกท่านที่เคยใช้กล้องถ่ายวิดีโอหรือกล้องถ่ายรูปคงจะคุ้นเคยกับระบบเลนส์ที่สามารถปรับโฟกัสได้โดยอัตโนมัติ ไม่ต้องใช้มือหมุนเลนส์ โดยปกติแล้วกล้องถ่ายวิดีโอจะเลือกใช้ระบบการปรับโฟกัส 1 ใน 2 วิธี วิธีที่หนึ่งเรียกว่าระบบไออาร์ (An inferred system หรือ IR) ระบบที่สองเรียกว่าระบบทีทีแอล (Through-The-Lens หรือ TTL)

ระบบไออาร์ เป็นวิธีที่ให้ความถูกต้องของการโฟกัสที่ดีมาก แต่มีข้อเสียอย่างน้อยสองประการคือ ประการแรกระบบไออาร์จะต้องถูกออกแบบและวางไว้ในตำแหน่งระนาบเดียวกันกับเลนส์ กล้องวิดีโอจะต้องถูกออกแบบเป็นอย่างดีเพื่อไม่ให้นิ้วมือของผู้ใช้บังเลนส์ มิฉะนั้นระบบโฟกัสจะทำงานผิดพลาด ข้อเสียประการที่สองก็คือ ระบบโฟกัสจะทำงานผิดพลาดทันทีที่ใช้กล้องวิดีโอนั้นถ่ายภาพที่ต้องมองผ่านกระจกหน้าต่าง เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากระบบไออาร์จะไปสะท้อนกับกระจก ทำให้ข้อมูลสะท้อนกลับมาอย่างผิดพลาด



Air Condition
Mitsubishi
Fuzzy Logic, I feel Control

ส่วนระบบโฟกัสแบบที่สองที่เรียกว่าระบบทีทีแอล มักจะไม่ค่อยมีความถูกต้องในการโฟกัส โดยปกติจะโฟกัสได้ถูกต้องประมาณ 20-30 ครั้ง ใน 100 ครั้ง ระบบทีทีแอลใช้ข้อมูลที่บรรจุอยู่ในอุปกรณ์เก็บภาพที่เรียกว่าซีซีดี (Charged Coupled Device หรือ CCD) อุปกรณ์ตัวนี้เก็บสัญญาณภาพไว้ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า ระบบทีทีแอลนี้ได้ขจัดปัญหาที่เป็นข้อเสียของระบบไออาร์ เช่น ไม่มีปัญหาเรื่องการถ่ายภาพผ่านกระจกหน้าต่าง หรือถ้ามือบังเลนส์เล็กน้อย ก็ยังไม่กระทบต่อความถูกต้องของการโฟกัส

อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์ของความถูกต้องในการโฟกัสยังไม่เป็นที่พอใจบริษัทแคนนอน ผู้ผลิตกล้องวิดีโอ 8 มิลลิเมตรรายสำคัญ มองเห็นแนวทางที่จะนำเทคโนโลยีฟัซซี่ลอจิกมาปรับปรุงความถูกต้องของระบบการโฟกัสแบบทีทีแอล

ระบบฟัซซี่ที่ใช้มีอินพุตจำนวน 7 อินพุต และเอาต์พุตเพียง 1 สัญญาณ นั่นคือ สัญญาณการปรับโฟกัสเลนส์ อินพุต 2 ตัว เป็นการกระจายความถี่ของสัญญาณในซีซีดี และอัตราการเปลี่ยนแปลงของการกระจายความถี่และทิศทาง ตัวอย่างเช่น ถ้าปริมาณพลังงานของความถี่สูงมีมากขึ้น แสดงว่าความคมชัดของภาพดีขึ้น แต่ถ้าปริมาณพลังงานความถี่ต่ำมีมากขึ้น แสดงว่าคุณภาพของความคมชัดแย่ลง เป็นต้น

ระบบฟัซซี่ที่ใช้มีกฎเกณฑ์เพียง 20 ข้อ กฎบางข้อจะใช้เพรดิเคตถึง 5 ตัว ถ้าเราสมมติว่ามีการใช้เพรดิเคตโดยเฉลี่ย 3 เพรดิเคต ระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ลอจิกแบบปกติจะต้องมีกฎเกณฑ์ถึง 7^3 หรือ 343 ข้อ (อินพุต 7 ตัว) ยากต่อการที่จะบรรจุอยู่ภายในหน่วยความจำรอมขนาด 2 กิโลไบต์ และต้องคำนวณหาผลลัพธ์ทุก ๆ 33 มิลลิวินาที ระบบกฎเกณฑ์แบบฟัซซี่จะใช้กฎจำนวนน้อยข้อกว่า และสามารถประมวลผลได้รวดเร็วด้วยระบบฟัซซี่-ลอจิกดังกล่าว คุณภาพของการโฟกัสจึงเทียบเท่ากับระบบโฟกัสแบบไออาร์ แต่ไม่มีข้อเสียของระบบไออาร์ (โฟกัสผ่านกระจกหน้าต่างได้ไม่ผิดเพี้ยน นิ้วมือบังกล้องเล็กน้อยก็ยังโฟกัสภาพได้ถูกต้อง เป็นต้น) กล้องวิดีโอแบบแคมคอร์ดเดอร์ที่ใช้เทคนิคฟัซซี่ลอจิกทำให้บริษัทแคนนอนมียอดขายที่สูงขึ้นตั้งแต่เริ่มเปิดตลาดในปี ค.ศ. 1990

ระบบฟัซซี่ต้นแบบใช้เวลาพัฒนาเพียง 1 เดือน งานส่วนใหญ่อยู่ที่การปรับแต่งลักษณะของฟังก์ชันสมาชิกของฟัซซี่เซตของตัวแปรอินพุต งานดังกล่าวอาศัยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน และใช้หลักการแบบลองผิดลองถูก และทำการแก้ไข เอาต์พุตของระบบฟัซซี่นี้ถูกตีกลับ (Defuzzyfied) โดยการใช้หลักการของการหาจุดศูนย์ถ่วง (Cen-

troid Method) เหมือนที่กล่าวอธิบายในตัวอย่างที่ผ่านมาแล้ว

อนาคตของฟัซซี่ลอจิก

ฟัซซี่ลอจิกเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับระบบคอมพิวเตอร์ในยุคปัจจุบัน และจะทวีความสำคัญมากขึ้นในอนาคต การประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายของเทคโนโลยีด้านนี้เป็นเหตุผลและแรงจูงใจหลัก การใช้งานระบบฟัซซี่ลอจิกในด้านระบบการควบคุมโดยปกติแล้วจะให้ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพที่ดีขึ้น 5-25 เปอร์เซ็นต์ โดยเปรียบเทียบกับระบบการควบคุมที่มีใช้อยู่เดิม หรือการประยุกต์ใช้งานด้านระบบผู้เชี่ยวชาญแบบฟัซซี่ไม่ว่าจะเป็นทางด้านการเงิน การธนาคาร ก็มักจะใช้ฐานความรู้ที่มีจำนวนกฎเกณฑ์น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบฐานความรู้ที่ใช้กฎเกณฑ์แบบที่ไม่ใช้ฟัซซี่เซต การประมวลผลความรู้ในลักษณะของฟัซซี่ (Fuzzy Inferencing) ก็มักจะกระทำได้รวดเร็วกว่า อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญแบบฟัซซี่ ในกรณีที่การประยุกต์ใช้งานมีความซับซ้อนมากขึ้นนั้น ผู้พัฒนามักจะเสียเวลาจำนวนมากในการปรับลักษณะฟังก์ชันสมาชิกของฟัซซี่เซต การเลือกวิธีการหาเหตุผล (Fuzzy Inferencing) และการเลือกวิธีการตีข้อมูลกลับ (Defuzzification) ให้เหมาะสม

อย่างไรก็ตาม ฟัซซี่ลอจิกได้เสนอแนวทางหนึ่งในการแทนความรู้ที่มีดีกรีของความไม่แน่นอนแฝงอยู่ได้ดี สามารถจัดการกับความรู้หรือเหตุผลที่อาจจะมีความขัดแย้ง (conflicting policies) พร้อมทั้งเสนอวิธีการหาข้อสรุปที่เหมาะสมที่สุดระดับหนึ่ง ในท่ามกลางความขัดแย้งหรือความไม่ชัดเจนนั้น ในโลกแห่งความเป็นจริง เรามักจะพบกับปัญหาที่มีความไม่แน่นอนในลักษณะแบบนี้เสมอ

แนะนำเอกสารอ่านเพิ่มเติม

1. Zadeh, L.A. "Fuzzy Sets, Information and Control" Vol. 8 New York: Academic Press, 1965.

ถ้ากล่าวถึงเรื่องฟัซซี่ลอจิก เราหนีไม่พ้นที่จะต้องกล่าวถึงคนที่ชื่อซาเดย์ (Zadeh) เราอาจจะขนานนามเขาว่าเป็นบิดาแห่งฟัซซี่ลอจิกก็ได้ เนื่องจากซาเดย์เป็นบุคคลแรกที่ได้รวบรวมและเสนอพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ ในเรื่องของฟัซซี่เซต และฟัซซี่ลอจิกที่ทำให้ลอจิกมีประโยชน์อย่างมากมายในปัจจุบัน (ความจริงแล้วในเรื่องของแนวความคิดแบบฟัซซี่ลอจิก อาจจะย้อนถอยหลังไปอีกในช่วง ค.ศ. 1920 ที่นายลูกาเซียวิคส์ Lukaciewicz เสนอลอจิกแบบ 3 ค่า คือ จริง เท็จ และไม่รู้ (unknown)

2. Klir, G.J. and Folger, T.A. "Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information" Prentice-Hall International Editions, 1988

หนังสือตำราเรียนทางด้านฟัซซี่ที่อ่านค่อนข้างง่าย ให้เนื้อหาพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ฟัซซี่เซตและความสัมพันธ์ต่าง ๆ ได้ดี พร้อมกับยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานฟัซซี่ลอจิกในด้านต่าง ๆ เช่น ระบบควบคุม วิศวกรรมศาสตร์ การแพทย์ ธุรกิจ การตัดสินใจ และวิทยาศาสตร์สังคม เป็นต้น

3. Kandal, A. "Fuzzy Expert Systems" IEEE Computer Society, 1991.

หนังสือเล่มนี้บรรยายถึงเนื้อหาในรายละเอียดของระบบผู้เชี่ยวชาญแบบฟัซซี่ การแทนความรู้แบบฟัซซี่ และการอนุมานแบบฟัซซี่ (Fuzzy Inferencing) การหาเหตุผลในแบบประมาณ (Approximate Reasoning) พร้อมกับตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในเชิงวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

4. Kosko, B. "Neural Networks and Fuzzy Systems:A Dynamic Systems Approach to Machine Intelligence." Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall, 1992

หนังสือเล่มนี้เหมาะสำหรับผู้สนใจที่จะผนวกประโยชน์การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีของนิวรอลเน็ตเวอร์ก และฟัซซี่ลอจิกเข้าด้วยกัน เนื้อหาของหนังสือเน้นหนักในเชิงคณิตศาสตร์พื้นฐานค่อนข้างมาก แต่มีข้อดีที่มีซอฟต์แวร์จำลองการทำงานอยู่ในดิสค์ที่มาพร้อมกับหนังสือ ทำให้สามารถทดลองรันโปรแกรมบางอย่างได้เพื่อเพิ่มความเข้าใจ หนังสือเล่มนี้จึงเหมาะสำหรับคนที่ค่อนข้างมีเรียสในการที่จะศึกษาค้นคว้า

หนังสือ 3 เล่มหลัง ผู้อ่านสามารถที่จะหาซื้อได้ตามร้านหนังสือที่มีอยู่ในเมืองไทย หรือขอหยิบยืมตามห้องสมุดในมหาวิทยาลัยใหญ่ ๆ ได้ ถ้าจะหาบทความที่ง่ายต่อการอ่านมากกว่านี้คงต้องค้นบทความที่มักจะมีเรื่องฟัซซี่ลอจิกปรากฏอยู่เสมอในวารสารภาษาอังกฤษ เช่น AI Expert และ IEEE Expert เป็นต้น หรือไม่ก็รอบทความที่เขียนอธิบายเป็นภาษาไทย ซึ่งจะมีให้ผู้อ่านได้พบเห็นเรื่องของฟัซซี่ลอจิกและการประยุกต์ใช้งานมากขึ้น ผมเชื่ออย่างนั้น